



FARMER TİPİ İYON ODASI DEDEKTÖR YANITININ DOZİMETRİK DEĞİŞKENLERE BAĞLI İNCELENMESİ

Investigated of Farmer Type Ionization Chamber Detector Response Depending on Dosimetric Variables

Eda KAYA PEPELE¹ 

İbrahim ÜNAL² 

Mehtap GÜNAY DÜZ³ 

¹İnönü Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Malatya

²İnönü Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Malatya

³İnönü Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Malatya

Geliş Tarihi / Received: 04.06.2021

Kabul Tarihi / Accepted: 02.11.2021

ÖZ

Genellikle iyon odaları; içi hava eşdeğeri gaz ile dolu, dış duvarın iç yüzeyi iletkenliği sağlamak amacıyla karbon veya grafitle kaplı ve merkezi iki elektrottan oluşmaktadır. Eksternal radyoterapide hedefe istenilen dozun verilebilmesi için iyon odası kullanılarak doz ölçümü yapılmalıdır. Radyoterapide kullanılan ışınların doz ölçümünde, çeşitli dozimetri protokolleri tarafından Farmer tipi silindirik iyon odası tavsiye edilmektedir. İyon odalarının duyarlı hacmi 0,01 cc ile 0,6 cc arasında değişmektedir. Bu çalışmada 0,6 cc aktif hacme sahip iyon odasının duvar materyali 0,43 mm kalınlığa sahip grafit duvar elektrotu ve alüminyum merkez elektrotu ile imal edilmiş. Sun Nuclear marka SNC 600c silindirik iyon odası kullanılmıştır. Clinac IX marka lineer hızlandırıcı cihazında 6 ve 15 MV foton ışınlarında iyon odasının çeşitli dozimetrik parametrelere bağlı yanıtı incelenmiştir. Sonuç olarak SNC 600c marka iyon odasının her iki foton enerjisinde de doza bağlı yanıtının doğrusal olduğu görülmüştür. İyon odasının voltaja bağlı değişimde, üreticinin tavsiye ettiği 300 Volt ve üzerindeki değerlerde her iki foton enerjisi için %1'in altında bir fark görülmüştür. Her iki foton enerjisi için iyon odasının yanıtı doz hızından ve enerjiden bağımsızdır. Böylece SNC 600c Farmer tipi silindirik iyon odasının yüksek enerjili fotonlar ile yapılan radyasyon ölçümünde kullanılan dedektörlerin sahip olması gereken özellikleri taşıdığından, mutlak doz ölçümünde kullanılabileceği doğrulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Dedektör yanıtı, Dozimetrik değişken, Farmer tipi iyon odası.

ABSTRACT

Generally, ion chambers consists of an outer wall and a central two electrodes, filled with air equivalent gas, and an inner surface covered with carbon or graphite to ensure conductivity. In external radiotherapy, dose measurement using ionization chambers is required to deliver the desired dose to the target. For dose measurement of rays used in radiotherapy, Farmer type cylindrical ionization chamber is recommended by various dosimetry protocols. The sensitive volume of the ionization chambers varies between 0.01 cc and 0.6 cc. In this study, the wall material of the ionization chamber with an active volume of 0.6 cc was fabricated with a graphite wall electrode with a thickness of 0.43 mm and an aluminum center electrode. In the Clinac IX brand linear accelerator device, the response of the ionization chamber depending on various dosimetric parameters was investigated in 6 and 15 MV photon beams. As a result, it was observed that the dose-dependent response of the SNC 600c brand ionization chamber was linear at 6 and 15 MV photon energies. In the voltage-dependent change of the ionization chamber, a difference of less than 1% was observed for both photon energy at the manufacturer's recommended values of 300 Volts and above. The response of the ionization chamber for both photon energies is independent of dose rate and energy. Thus, it has been confirmed that the cylindrical ionization chamber of the SNC 600c farmer type can be used in absolute dose measurement, as it has the characteristics that detectors used in radiation measurement with high-energy photons should have.

Keywords: Detector response, Dosimetric variable, Farmer type ionization chamber.

GİRİŞ

Radyasyon, parçacık demetleri ve dalgalar yolu ile taşınan özel bir enerji tipidir. Radyoaktif kaynaklardan ya da lineer hızlandırıcılardan elde edilir. Kanser tedavisinde yüksek enerjili ışınların ya da parçacıkların kullanılmasına radyoterapi denir.

Radyoterapide amaç; tanımlanmış tümörü çevreleyen sağlıklı dokuyu en fazla koruyarak, tanımlanmış tümör hacmine yüksek doğrulukla ölçülmüş radyasyon dozunu vermektir (Dirican, 2001). Aynı zamanda tümöre tanımlanan radyasyon dozunun -5% ile $+7\%$ 'si arasındaki bir doğrulukta verebilmektir (International Atomic Energy Agency [IAEA], 2000). Reçetelenen dozu doğru bir şekilde verebilmek için, su veya suya eşdeğer fantom içerisinde iyon odası yardımı ile doz doğrulamasının yapılması gereklidir. Ölçümlerin su veya suya eşdeğer fantomlar yardımıyla yapılmasındaki en önemli sebep, suyun radyasyon ölçümleri esnasında radyasyonun biyolojik etkileri ile yakın bir ilişki içinde olmasıdır. Radyoterapide yüksek enerjili foton ve elektronların kalibrasyonu için silindirik Farmer tipi ve paralel plate iyon odasının kullanılması tavsiye edilir (Yener, Canpolat, Bilen, ve Yaşar, 2014). Ortamda belirli bir noktaya iletilen doz, ortama yerleştirilen iyon odasının içerisindeki küçük hava boşluğunda üretilen yük miktarının spesifik bir elektrometre tarafından ölçülmesiyle belirlenir.

İyon odasında üç elektrot mevcuttur. Bunlar merkez elektrot ya da toplayıcı elektrot, kutuplanma elektrotu ve koruyucu elektrotur. Toplayıcı elektrot yük ölçüm aleti olan elektrometreye akım gönderir. Elektrometre toplayıcı elektrotu yüksek bias voltajında (400 V) tutmak için çift kutuplu yüksek bir voltaj kaynağına sahiptir. Kutuplanma elektrotu doğrudan güç kaynağına bağlıdır. Koruyucu elektrot toplayıcı elektrot ile aynı potansiyelde tutulur. Eğer iyon odası en küçük kutup etkisi ile tasarlanırsa, iki kutupta aynı büyüklükte iyon toplaması gerektiği halde sıklıkla toplayıcı elektrot negatif yükleri toplamak için pozitif voltajda çalışır. Koruyucu elektrot doğrudan topraklanır ve iki amaca hizmet eder. Birincisi iyon odası hassas volümünü belirlerken, ikincisi iyon odası kaçak akımlarının ölçülmesini önler (Khan, 2003).

Foton enerjilerinin iyon odası ile yapılan ölçümlerinde, bir iyon odasının cevabı odanın ölçen ve toplayan elektrotları arasına uygulanan voltaja bağlıdır. Odanın cevabının (yük veya akım) sabit doz oranında uygulanan voltaja karşı çizilen grafiği doyum eğrisi adını alır. Eğri başlangıçta düşük voltajda lineer bir şekilde artarken sonra yüksek voltajda (400 V) doyuma ulaşır (Yener vd., 2014). Bu nedenle voltaj kaynaklarının en fazla 500 V kadar çıkabilmesi yeterli olacaktır (IAEA, 2009).

Radyoterapide doz ölçümleri için kullanılan iyon odalarının tasarımı ve özellikleri çeşitli protokollerde açıklanmıştır (American Association of Physicists in Medicine Task Group [AAPMTG], 1999; IAEA, 1997). Literatürde belirtilen protokollere göre haznenin kavite hacmi 0.1 cc ile 1 cc arasında olmalıdır. Bölme hava boşluğunun iç çapı 7 mm'den, uzunluğu ise 25 mm'den az olmalıdır. Odanın yapısı homojen olmalıdır, ancak merkezi elektrot malzemesi teknik nedenlerden dolayı duvar malzemesinden farklıdır. İyon odasının üretiminde kullanılan malzemenin seçimi, iyon odasının farklı enerjilerde doza bağlı yanıtında odanın enerji tepkisinde önemli bir rol oynar. Örneğin, grafit duvar iyonizasyon odaları, plastik duvar odalarından daha uzun vadeli stabiliteye ve tekdüze tepkiye sahip olmasına rağmen, plastik duvar odaları daha sağlam ve rutin ölçümler için uygundur. Ayrıca oluşan iyonizasyon için ortam sıcaklığı ve hava basıncındaki değişim, ölçüm sonuçlarını etkileyebilir (Saminathan vd., 2016).

Radyoterapide doz ölçümü için kullanılan iyon odalarına ilişkin çalışmalar çoğunlukla absorbe doz hesaplamalarına yönelik çalışmalardır. Şahin ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, farklı tip iyon odaları kullanarak yüzde derin doz ve maksimum doz parametreleri incelenmiştir (Şahin, Orhan, ve Yaray, 2012). Okay ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada ise IBA CC13 model Farmer tipi iyon odası ve yarı iletken diyot kullanılarak yüzde derin doz ve doz profil ölçümleri karşılaştırılmıştır (Okay, Demir, ve Öztaş, 2013). Saminathan ve arkadaşlarının yayınlamış oldukları makalede ise Hindistan'da üretilen FAR 65 GB model Farmer tipi iyon odasının tasarımı ve özellikleri incelenerek iyon odasının; sızıntı testi, kararlılık kontrolü, polariteye bağımlılığı, enerji kalitesinin hesaplanması, doza, voltaja, doz hızına bağımlılığı incelenmiştir (Saminathan vd., 2016).

Bu çalışmada daha önce farklı model silindirik Farmer tipi iyon odaları kullanılarak yapılan çalışmaların dışında, Sun Nuclear tarafından üretilen ve kliniğimizde yüksek enerjili fotonların kalibrasyonunda kullanılan SNC 600c tipi silindirik iyon odasının; radyasyon dozu, doz hızı, uygulanan voltaj ve ışın kalitesine bağlı yanıtının incelenmesi amaçlanmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma Turgut Özal Tıp Merkezi Radyasyon Onkolojisi ABD'de yapılmıştır. Bu çalışmada materyal olarak; iyon odası, elektrometre, lineer hızlandırıcı cihazı ve su eşdeğeri RW3 katı fantom kullanılmıştır.

İyon Odasının Yapısı ve Özellikleri

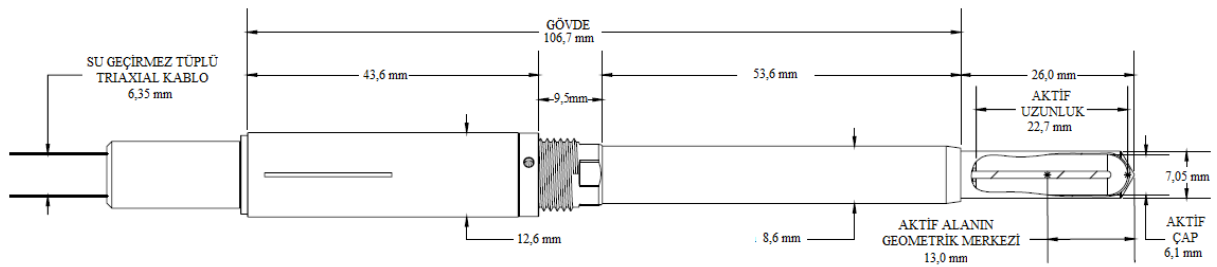
Farmer tipi silindirik iyon odası Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu Teknik Rapor Serisi (IAEA-TRS) protokolüne göre tasarlanmıştır. SNC 600c iyon odasına ait ayrıntılı teknik özellikler Tablo 1’de, fiziksel özellikler ise Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1. SNC 600c İyon Odası Teknik Özellikleri

Aktif Hacim (cm ³)	0.6
Aktif Uzunluk (mm)	22.7
Aktif Çap (mm)	6.1
Duyarlılık (nC/Gy)	20
Duvar Materyali (mm)	Grafit 0.43
Enerji Aralığı	1.25 MeV/6 MV-25 MV /9 MeV-25 MeV
Elektrot (mm)	Çap: 1.1 Alüminyum
Buildup Cap (mm)	4.5
Polarize Voltaj	±400 Volt (Maksimum)
Uzunluk (m)	1.5
Kablo Bağlantısı	TNC veya BNC



(a)



(b)

Şekil 1. SNC 600c Silindirik İyon Odası (a) Dış Görünümü, (b) Fiziksel Özellikler

Lineer Hızlandırıcı Cihazı

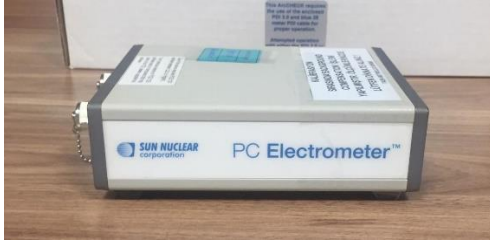
İyon odasında yapılan tüm ölçümler Şekil 2’deki Clinac IX marka Lineer Hızlandırıcı cihazında 6 MV ve 15 MV foton enerjilerinde yapılmıştır. Lineer hızlandırıcı cihazında kaynak cilt mesafesi (SSD) 100 cm olup, 60 adet 0.5 cm, 60 adet 1 cm olmak üzere toplam 120 adet Multi Lif Kolimatöre (MLC) sahiptir.



Şekil 2. Clinac IX Lineer Hızlandırıcı Cihazı

Elektrometre

Yapılan tüm dozimetrik ölçümler için iyon odası ile kalibre edilen Şekil 3'te verilen Sun Nuclear marka PC elektrometre kullanılmıştır. Elektrometrenin kalibrasyon faktörü 1'dir.



Şekil 3. PC Elektrometre

RW3 Katı Su fantomu

Yoğunluğu 1.045 g/cm^3 elektron yoğunluğu $3.43 \times 10^{23} \text{ e/cm}^3$ olan Şekil 4'te verilen PTW marka RW3 katı su fantomu beyaz poliesterden $40 \times 40 \text{ cm}^3$ boyutlarında 1, 2, 5 ve 10 mm kalınlıkta plakalar şeklindedir. Plakalarda iyon odalarına uygun delikler bulunmaktadır.



Şekil 4. RW3 Katı Su Fantomu

İyon odası ile yapılacak olan dozimetrik ölçümlerin öncesinde lineer hızlandırıcı cihazında 6 ve 15 MV foton enerjilerinde output ölçümü yapılarak 1cGy'nin 1 monitör unite (MU) eşit olacak şekilde lineer hızlandırıcı cihazının kalibrasyonu yapılarak iyon odasının aşağıdaki dozimetrik değişkenlere bağlı yanıtı incelenmiştir.

1) Bias voltajın değişimine bağlı iyon odasının yanıtının incelenmesinde, ölçümler 50 V ile 400 V arasında 50'şer Volt'luk artışla alınmıştır. Ölçümler; ayrı ayrı 6 MV ve 15 MV foton ışınlarında su eşdeğeri katı fantomda referans derinlik sırası ile 5 ve 10 cm olacak şekilde 10x10 cm² alan boyutunda SSD 100 cm'de, 100 MU doz verilerek, elektrometreden okuma değerleri alınmıştır. Okuma değerleri 300 V'a normalize edilmiştir. Kararlı sonuç almak için üçer kez tekrarlanmıştır.

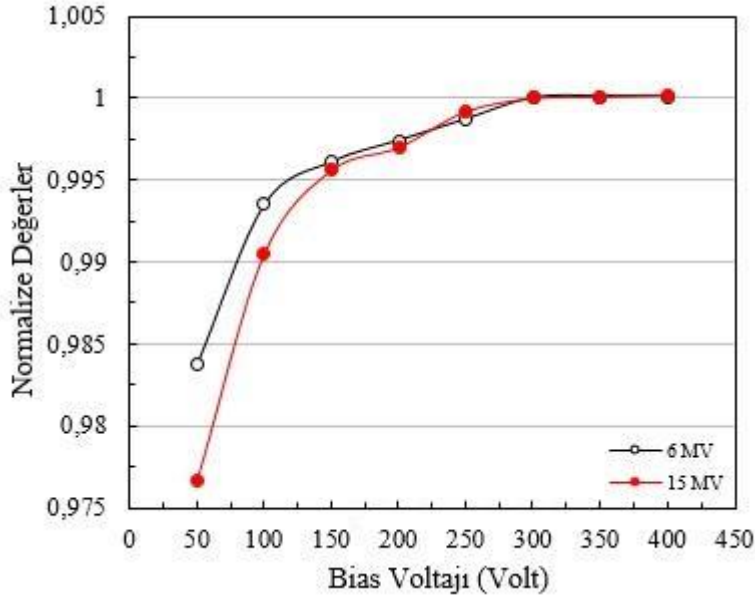
2) Radyasyon dozuna bağlı iyon odasının yanıtının incelenmesinde; ölçümler 20 MU ile 1000 MU arasında alınmıştır. Ölçümler 6 MV ve 15 MV foton enerjilerinde su eşdeğeri katı fantomda SSD 100 cm alan boyutu 10x10 cm²'de referans derinlik 5 ve 10 cm olacak şekilde alınarak, 200 MU'a normalize edilmiş olup, kararlı sonuç almak için üçer kez tekrarlanmıştır.

3) Doz hızına bağlı iyon odasının yanıtının incelenmesinde; ölçümler su eşdeğeri katı fantomda 10x10 cm² alan boyutunda 5 ve 10 cm derinlikte 6 MV ve 15 MV foton enerjilerinde 100 monitör MU/dk'dan 600 MU/dk'ya kadar 100'er MU/dk aralıklarla alınmış okumalar 400 MU/dk'a normalize edilmiştir. Kararlı sonuç almak için üçer kez tekrarlanmıştır.

4) Enerji değişimine bağlı iyon odasının yanıtının incelenmesinde; ölçümler Clinac IX marka lineer hızlandırıcı cihazında üretilen 6 MV ve 15 MV foton enerjilerinde su eşdeğeri katı fantomda 10x10 cm² alan boyutunda 5 ve 10 cm derinlikte 200 MU doz verilerek ölçümler alınmış ve kararlı sonuç almak için üçer kez tekrarlanmıştır.

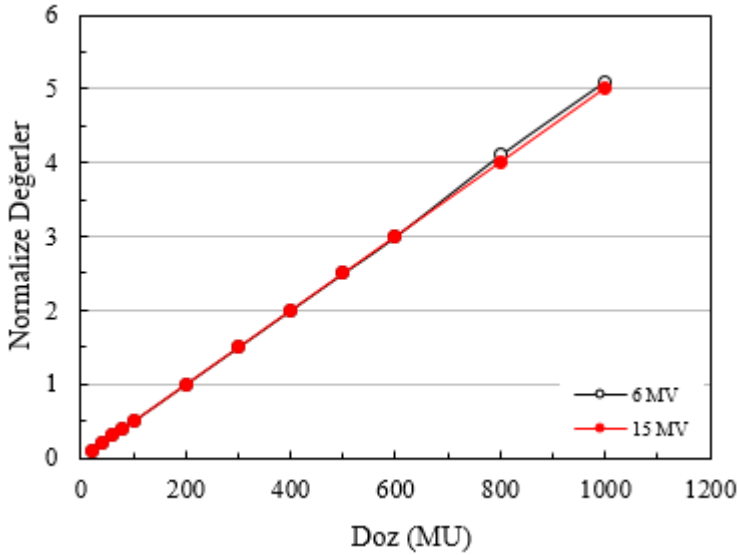
BULGULAR VE TARTIŞMA

1) Bias voltajın değişimine bağlı iyon odasının yanıtında, ön gerilim voltajları 50 V ile 400 V arasında 50 V'luk artışlarla elektrometreden okuma değerleri alınmıştır. Üç kez tekrarlanan ölçümlerin ortalamasının 300 V'a normalize edildiği değerler Şekil 5'te gösterilmiştir. İyon odasının cevabının her iki foton enerjisinde de değişimin en belirgin gözlemlendiği voltaj aralığı 50V ile 300V arasında olduğu ve bu değişim 6 MV için %1.8 artış gösterirken 15 MV için %2.4 artış gösterdiği görülmüştür. 300 V ile 400 V arasında ise her iki foton enerjisinde de %1'in altında bir fark olduğu gözlemlenmiştir. 300 V ve üzeri voltajlarda, değişimin her iki enerji içinde %1'in altında olduğu görülmüştür.



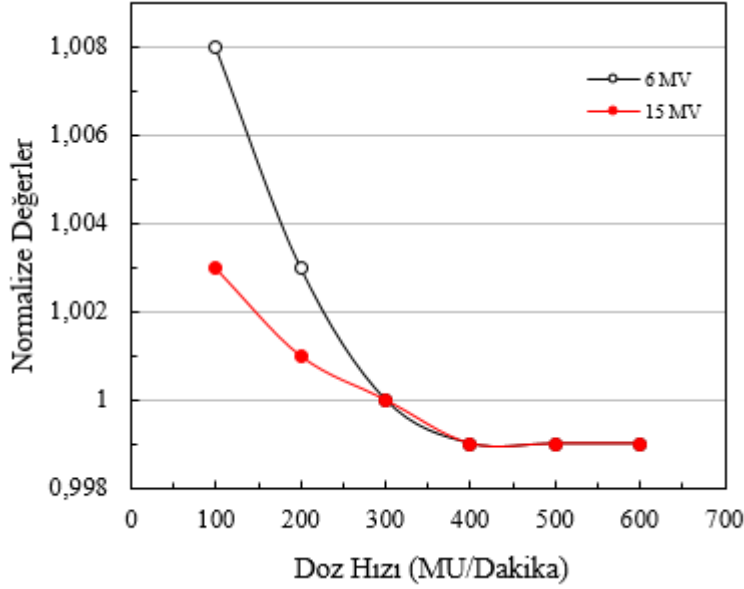
Şekil 5. Bias Voltaja Bağlı İyon Odasının Yanıtı

2) Radyasyon dozuna bağlı iyon odasının yanıtı; Şekil 6'da görüldüğü gibi 6 MV ve 15 MV foton enerjilerinde iyon odasının 20 MU ile 1000 MU arasında değişen doza bağlı yanıtının lineer olduğu görülmüştür. 200 MU'ya normalize edilmiş iyon odası okuma değerleri Şekil 6'da görüldüğü gibidir.



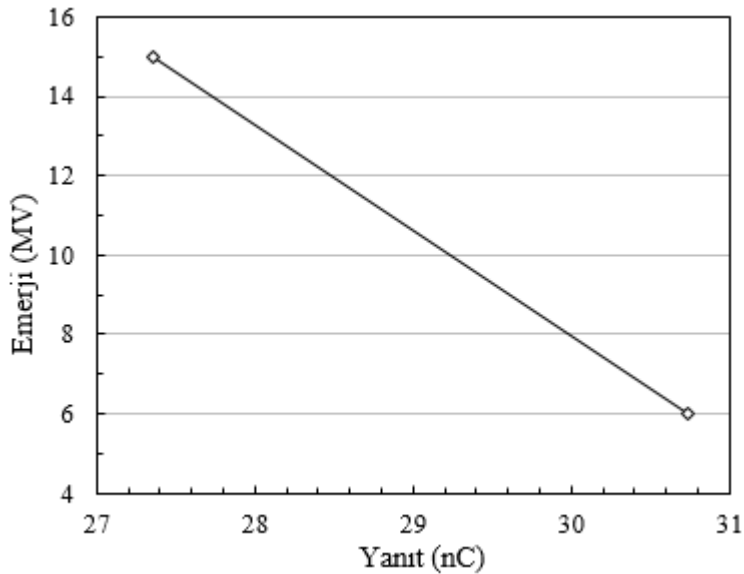
Şekil 6. İyon Odasının Doza Bağlı Yanıtı

3) Doz hızındaki değişime bağlı iyon odasının yanıtında okuma değerleri her iki enerjide de 400 MU/dakika'da normalize edilmiştir. 6 ve 15 MV foton ışınları için 100 ila 600 MU/dakika arasında değişen çeşitli doz hızları için iyon odası tepkisi Şekil 7'de gösterilmektedir. Maksimum sapma %1 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, odanın tepkisinin her iki enerji için doz oranından bağımsız olduğunu göstermektedir.



Şekil 7. İyon Odasının Doz Hızına Bağlı Değişimi

4) İyon odasını enerji değişimine bağlı tepkisinde 6 ve 15 MV foton enerjilerinde 200 MU ışınlamada alınan okuma değerlerine bağlı çizilen Şekil 8, iyon odasının enerji değişimine bağlı tepkisini göstermektedir. İyon odasının enerjiye bağımlılığı önemli ölçüde değişmez $<0\%$ ve ölçüm belirsizliği dâhilindedir. İyon odasının yanıtı enerjiden bağımsızdır.



Şekil 8. İyon Odasının Enerjiye Bağlı Değişimi

SONUÇ VE ÖNERİLER

SNC 600c Farmer tipi iyon odası ile yapılan dozimetrik ölçümlerde iyon odasının, doz hızından ve enerjiden bağımsız olduğu ve aynı zamanda doz ile doğrusal bir yanıt gösterdiği görülmüştür. Okay ve arkadaşlarının silindirik Farmer tipi iyon odası ve yarı iletken diyot kullanarak yapmış oldukları çalışmada, radyoterapide kullanılan dozimetrelerin foton

enerjisinden bağımsız ve radyasyon dozu ile lineer bir değişim gösterdiği aynı zamanda iyon odalarının enerji bağımlılığı olmadığından, bir silindirik iyon odasıyla tedavide kullanılan her enerjide ölçüm alma imkânı olduğu sonucuna varmışlardır (Okay vd., 2013).

Saminathan ve arkadaşları, Far 65 GB model silindirik iyon odası kullanarak kobalt 60, 6 MV ve 18 MV foton enerjilerinde elektrometreye uyguladıkları 50 V ile 500 V arasında değişen ön gerilim voltajlarında, 50 V'tan 500 V'a yükseldikçe değişimin tüm enerjiler için %8 ile %9 arasında olduğunu, 300V ve üzerinde ise %2 oranında değiştiğini göstermişlerdir. Dozimetrik ölçümlere rutinde uygulanan voltajın 300 V ve üzerinde olduğu belirtilmiştir (Saminathan vd., 2016). SNC 600c tipi iyon odasının üretici firma tarafından tavsiye edilen maksimum ön gerilim voltajı 400 V'tur (SNC Katalog). Bu çalışmada da, SNC 600c marka iyon odasının elektrometreye uygulanan farklı ön gerilim voltajlarına bağlı yanıtında 300 V ile 400 V arasında her iki enerjide de iyon odasının yanıtının voltaj değişiminden bağımsız olduğu görülmüştür.

Radyoterapide ışın demetinin kalibrasyonu komplike ölçümlere ve pek çok dönüşüm ile düzeltme faktörünün uygulanmasına dayanmaktadır. Bu yüzden kalibrasyon işleminin bütün basamakları belirsizliğe yol açmayacak şekilde ifade edilmeli ve kullanılan dedektörler minimum değişkenlere sahip olmalıdır. Radyasyon ölçümünde kullanılacak olan ideal bir dedektörün sahip olması gereken özellikleri açısından, enerji bağımlılığı olmamalı, doza bağlı lineer bir değişim göstermeli, radyasyon tipine bağımlı olmamalı, doğrudan okuma yapabilmelidir (Yaşar, 2018).

Yapılan incelemeler sonucunda bu çalışmada; kliniğimizde foton enerjilerinin dozimetrik ölçümleri için kullanılan SNC 600c marka Farmer tipi iyon odasının IAEA TRS-398 nolu protokolünde yüksek enerjili fotonların radyasyon ölçümü için tavsiye edilen dedektörlerin özelliklerine sahip olduğu görülmüştür. SNC 600c marka Farmer tipi iyon odasının enerji bağımlılığının olmaması, doza bağlı lineer bir artış göstermesi, doz rate ve farklı voltaj değerlerine bağlı iyon odası okuma değerlerinin minimum değişkenliğe sahip olması nedeni ile yüksek enerjili foton demetlerinin mutlak doz ölçümlerinde SNC 600c farmer tipi iyon odasının kullanımının uygun olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- American Association of Physicists in Medicine. (1999). Task group 51: protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams. Med Phys. 26(9), 1847–1870.*
- Dirican, B. (2001). Radyoterapi teknikleri. Birinci Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi, 25-26 Ekim, Ankara.*

International Atomic Energy Agency. (1997). Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams: An International Code of Practice, Technical Reports Series No.277.

International Atomic Energy Agency. (2000). Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water, Technical Reports Series, TRS398

International Atomic Energy Agency.(2009). Calibration of Reference Dosimeters for External Beam Radiotherapy, Technical Reports Series No.469.

Khan, F. (2003). Physics of Radiation Therapy, 3rd Ed. Lippincott, 78-93.

Okay, S., Demir, B., Öztaş, A. (2013). Radyoterapi ışınlarının kalite kontrolünde yarı iletken diyot ve silindirik iyon odası performanslarının karşılaştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Dergisi SDU Journal of Science (E-Journal). Ekim 8(2), 151-162.

Saminathan, S., Godson, H., Ponmalar, R., Manickam, R., Mazarello, J., Fernandes R. (2016). Dosimetri performance of newly developed farmer-type ionization chamber in radiotherapy practice, Technology in Cancer Research & Treatment, 15(6), NP113–NP120.

Şahin, A., Orhan, O., Yaray, K. (2012). Farklı tip iyon odalarıyla ölçülen yüzde derin doz ve doz maksimum parametrelerinin incelenmesi. Erciyes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi (Journal of Health Sciences). 21(3), 164-171.

Yaşar, D. (2018). IAEA, Absorbe Doz Protokolleri ve Klinik Pratikleri Dedektörler ve Ölçüm Teknikleri, 01 Aralık.

Yener, H., Canpolat, A., Bilen, E., Yaşar, S. (2014). Yüksek enerjili elektron demetlerinin ölçümlerinde iki farklı iyon odasının karşılaştırılması. Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Haziran 2147-7930.